

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) RU <sup>(11)</sup> **2 460 246** <sup>(13)</sup> C1ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(51) МПК

[H05B 6/00 \(2006.01\)](#)[H05B 6/04 \(2006.01\)](#)[H05B 6/10 \(2006.01\)](#)[H02M 7/521 \(2006.01\)](#)[H02M 7/523 \(2006.01\)](#)[H02M 7/5387 \(2007.01\)](#)

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

Статус: не действует (последнее изменение статуса: 18.01.2016)

(21)(22) Заявка: [2011101086/07](#), 12.01.2011(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
12.01.2011

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 12.01.2011

(45) Опубликовано: [27.08.2012](#) Бюл. № 24(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: RU 2231905 C2, 27.06.2004. RU 57060  
U1, 27.09.2006. RU 2005136169 A, 10.06.2007.  
RU 2280942 C1, 14.02.2005. SU 408465 A1,  
10.12.1973. GB 2269465 A, 09.03.1994. US  
20100237065 A1, 23.04.2010. DE 69315500 T2,  
02.04.1998. JP 2006209983 A, 10.08.2006. EP  
1581029 A1, 28.09.2005.

Адрес для переписки:

620002, г.Екатеринбург, ул. Мира, 19, УрФУ  
имени первого Президента России Б.Н.  
Ельцина, центр интеллектуальной  
собственности, Т.В. Марксу

(72) Автор(ы):

Петров Александр Юрьевич (RU),  
Шипицын Виктор Васильевич (RU),  
Лузгин Владислав Игоревич (RU),  
Черных Илья Викторович (RU),  
Труфакин Иван Михайлович (RU)

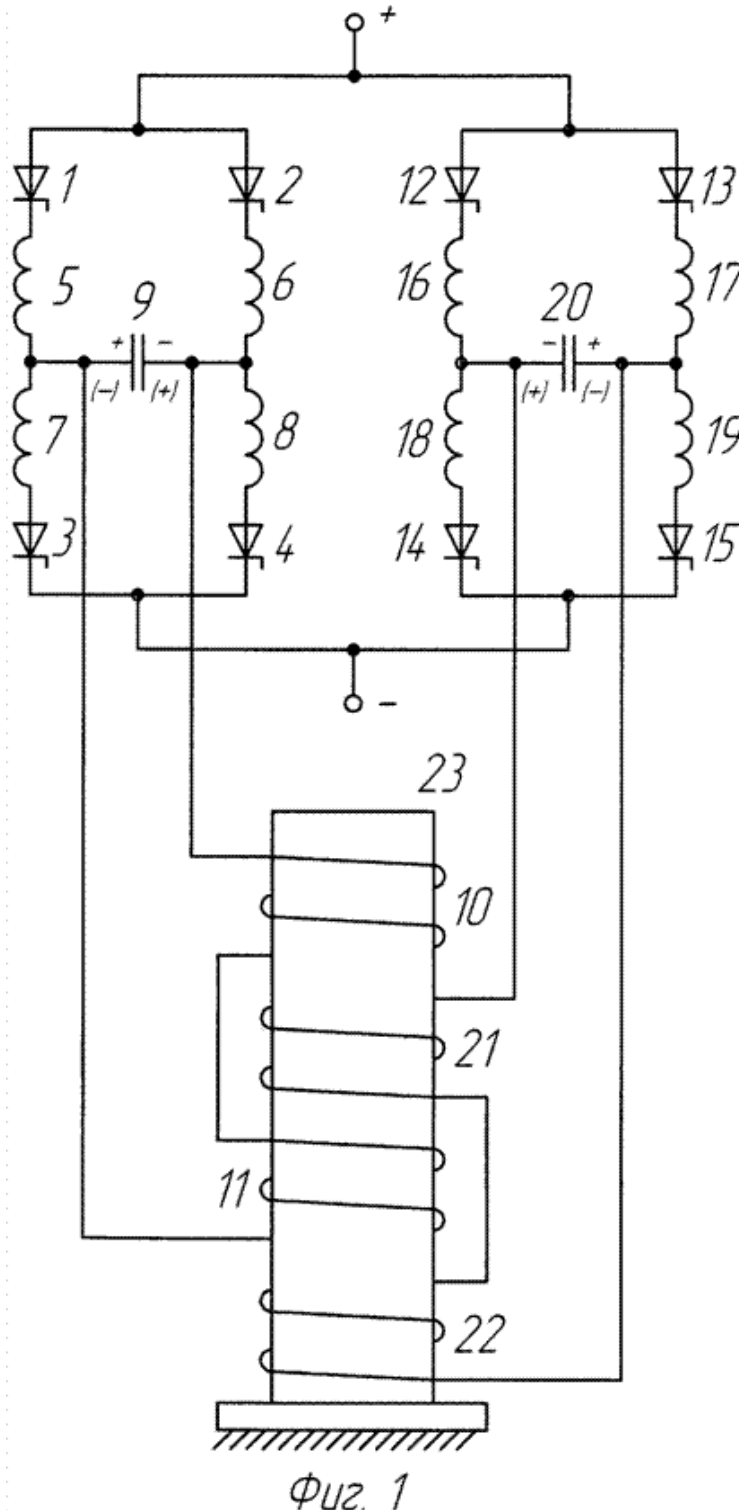
(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
"Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б.Н.  
Ельцина" (RU)(54) ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА НА  
ОСНОВЕ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО МОСТОВОГО РЕЗОНАНСНОГО ИНВЕРТОРА И СПОСОБ  
УПРАВЛЕНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫМ УСТРОЙСТВОМ ДЛЯ ИНДУКЦИОННОГО  
НАГРЕВА НА ОСНОВЕ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО МОСТОВОГО РЕЗОНАНСНОГО ИНВЕРТОРА

(57) Реферат:

Изобретение относится к преобразовательной технике и может быть использовано для индукционного нагрева и плавки металлов. Техническим результатом является генерирование высокочастотного однофазного электромагнитного поля на этапе расплавления металла и двухчастотного двухфазного электромагнитного поля на этапе электромагнитного перемешивания расплавленного металла и его подогрева одним преобразовательным устройством, упрощение и снижение потерь. Преобразовательное устройство для индукционного нагрева на основе параллельного мостового резонансного инвертора содержит два вентильных моста на четырех управляемых вентилях с диагоналями постоянного и переменного тока, части дросселя колебательного контура, источник питания, два конденсатора, двухобмоточный индуктор, полуобмотки которого расположены на боковой поверхности тигля вдоль оси индуктора и перпендикулярно этой оси в чередующейся

последовательности. В системе управления в процессе расплавления шихты формируют высокочастотное однофазное электромагнитное поле, а в процессе электромагнитного перемешивания и подогрева расплавленного металла формируют двухчастотное двухфазное электромагнитное поле: низкочастотное электромагнитное поле с модуляцией по высокой частоте. По низкой частоте электромагнитное поле, формируемое вторым вентильным мостом, сдвинуто на  $90^\circ$  эл. по отношению к первому вентильному мосту. 2 н.п. ф-лы., 2 ил.



Предлагаемое изобретение относится к преобразовательной технике и может быть использовано для индукционного нагрева и плавки металла.

Техническим результатом является генерирование преобразовательным устройством высокочастотного однофазного электромагнитного поля на этапе расплавления металла и генерирование тем же самым преобразовательным устройством двухчастотного двухфазного электромагнитного поля на этапе электромагнитного перемешивания расплавленного металла и его подогрева, а также упрощение и снижение потерь.

Известно применение для индукционного нагрева металлов электромагнитного поля, генерируемого промышленной сетью 50 Гц (Л.1 Вайнберг А.М. Индукционные печи. - М.: Энергия, 1967 г.) и тиристорных преобразователей повышенной частоты (Л.2 Тиристорные преобразователи повышенной частоты для электротехнологических установок / Е.И.Беркович и др. - 2-е изд., перераб. и доп. - Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1983), что является аналогами предлагаемому изобретению. Оба упомянутых аналога позволяют генерировать лишь одночастотное электромагнитное поле. В то же время известно, что при плавке металла в одночастотном электромагнитном поле металл под действием электромагнитных сил движется по двум контурам в верхней и нижней частях индуктора, что улучшает качество металла, но недостаточно эффективно. Для повышения эффективности нагрева, плавления и улучшения качества металла необходимо многофазное двухчастотное поле, что обеспечивает один общий контур перемешивания металла (Л.3 Приложение 1. Шамов А.Н. и др. Проектирование и эксплуатация высокочастотных установок. Изд. 2-е, доп. и перераб. Л.: Машиностроение, (Ленингр. отд-ние), 1974, стр.45, рис.22, стр.46).

В Л.1 для этого предлагается использовать два генератора. Для нагрева металла использовать высокочастотный генератор, а для электромагнитного перемешивания - низкочастотный трехфазный генератор. Однако это требует в течение электротехнологического процесса плавления металла переключений в силовых цепях, что усложняет и удорожает нагревательное оборудование. Таким образом, аналоги предлагаемого изобретения не позволяют достичь заявленного технического результата, т.е. генерировать одним преобразовательным устройством высокочастотное однофазное электромагнитное поле на этапе расплавления металла и генерировать тем же самым преобразовательным устройством двухчастотное двухфазное электромагнитное поле на этапе электромагнитного перемешивания расплавленного металла и его подогрева, а также упрощение и снижение потерь. Поэтому в качестве прототипа выбран параллельный мостовой резонансный инвертор (Л.2, Приложение 2, стр.16, рис.2.1, стр.30, 31, 32, рис.2.10). На упомянутом рис.2.1 изображен не параллельный резонансный инвертор, а параллельный инвертор тока, но на стр.30, 31 и 32 в Л.2 отмечается, что при изменении параметров параллельного инвертора тока, а именно при уменьшении индуктивности входного дросселя  $L_d$  параллельный инвертор тока превращается в параллельный резонансный инвертор, в котором ток управляемых вентилях изменяется по колебательному закону и поэтому имеет место режим естественного выключения управляемых вентилях (в данном случае однооперационных тиристоров). В предлагаемом изобретении выбран именно резонансный режим работы прототипа, т.е. уменьшена индуктивность входного дросселя. Кроме того, упомянутая индуктивность выполнена из четырех частей, каждая из которых включена последовательно с одним из четырех тиристоров, при этом режим естественного выключения тиристоров сохраняется. Однако прототип также не обеспечивает достижение заявленного выше упомянутого технического результата.

Предлагаемое изобретение решает задачу создания преобразовательного устройства на основе параллельного мостового резонансного инвертора, осуществление которой позволяет достичь заявленного технического результата, заключающегося в возможности генерирования одним преобразовательным устройством высокочастотного однофазного электромагнитного поля на этапе расплавления металла и генерирования тем же самым преобразовательным устройством двухчастотного двухфазного электромагнитного поля на этапе электромагнитного перемешивания расплавленного металла и его подогрева, а также упрощения и снижения потерь.

Сущность предлагаемого изобретения - преобразовательного устройства для индукционного нагрева - заключается в том, что к первому вентильному мосту, состоящему из четырех управляемых вентилях, четырех дросселей колебательного контура, конденсатора и индуктора, дополнительно введен аналогичный второй вентильный мост, при этом два индуктора двух вентильных мостов объединены в один двухобмоточный индуктор, содержащий две полуобмотки первую и вторую, каждая из которых соединена с одним из конденсаторов двух вентильных мостов и выполнена из двух частей, последовательно соединенных между собой, при этом части первой и второй полуобмоток расположены на поверхности тигля индуктора с чередованием частей первой и второй полуобмоток.

Известен способ управления одномостовым параллельным инвертором, который заключается в попеременном отпирании противофазных вентилях и обеспечивает генерирование только одночастотного однофазного электромагнитного поля (Л.2. Приложение 3, стр.16, 17, рис.2.2). Этот способ является аналогом предлагаемому

изобретению, однако он не обеспечивает достижение заявленного технического результата.

Известен также способ управления двухчастотным преобразовательным устройством, который обеспечивает генерирование только двухчастотного электромагнитного поля (Л.4. Патент РФ на изобретение №2231906. Автономный полумостовой инвертор и способ управления работой автономного полумостового инвертора. Формула изобретения к патенту: стр.2, п.2; описание изобретения к патенту: стр.10, сущность изобретения способа управления; стр.21, 22, фиг.2, ось М.). Этот способ принят в качестве прототипа, однако он также не обеспечивает достижение заявленного технического результата.

Таким образом, и аналоги, и прототипы не обеспечивают достижение заявленного технического результата.

Предлагаемое изобретение «Преобразовательное устройство для индукционного нагрева на основе параллельного мостового резонансного инвертора и способ управления преобразовательным устройством для индукционного нагрева на основе параллельного мостового резонансного инвертора» позволяет достичь заявленного технического результата.

Сущность предлагаемого изобретения - способа управления преобразовательного устройства для индукционного нагрева на основе параллельного мостового резонансного инвертора заключается в генерировании высокочастотного однофазного электромагнитного поля при плавлении шихты индуктора и генерировании двухчастотного двухфазного электромагнитного поля, а именно низкочастотного с модуляцией по высокой частоте электромагнитного поля при электромагнитном перемешивании расплавленного металла и его подогреве.

Таким образом, заявленное устройство и заявленный способ управления устройством обеспечивают достижение заявленного технического результата.

На фиг.1 приведено предлагаемое устройство для индукционного нагрева на основе параллельного мостового резонансного инвертора, которое содержит источник постоянного напряжения, два вентильных моста, два конденсатора 9, 20, двухобмоточный индуктор и тигель 23, при этом первый вентильный мост состоит из четырех управляемых вентилях 1, 2, 3, 4, а второй вентильный мост состоит из четырех управляемых вентилях 12, 13, 14, 15, при этом последовательно с каждым из управляемых вентилях первого и второго вентильных мостов 1, 2, 3, 4 и 12, 13, 14, 15 соединены соответственно части дросселя колебательного контура 5, 6, 7, 8 и 16, 17, 18, 19, при этом оба упомянутые вентильные мосты имеют диагонали постоянного и диагонали переменного тока, при этом диагонали постоянного тока обоих вентильных мостов подсоединены к источнику постоянного напряжения с такой полярностью, чтобы управляемые вентили 1, 2, 3, 4 и 12, 13, 14, 15 были включены в прямом направлении по отношению к полярности источника постоянного напряжения, при этом к диагоналям переменного тока первого вентильного моста подсоединен первый конденсатор 9, а к диагоналям переменного тока второго вентильного моста подсоединен второй конденсатор 20, при этом параллельно первому конденсатору 9 подсоединена первая полуобмотка индуктора 10-11, которая состоит из двух последовательно соединенных частей 10 и 11, при этом параллельно второму конденсатору 20 подсоединена вторая полуобмотка индуктора 21-22, которая состоит из двух последовательно соединенных частей 21 и 22, при этом упомянутые части полуобмоток 10, 11 и 21, 22 на боковой поверхности тигля 23 двухобмоточного индуктора 10-21-11-22, начиная с верха этого индуктора, расположены вдоль оси упомянутого двухобмоточного индуктора перпендикулярно этой оси в следующем порядке: первая часть 10 первой полу обмотки 10-11, первая часть 21 второй полуобмотки 21-22, вторая часть 11 первой полуобмотки 10-11, вторая часть 22 второй полуобмотки 21-22.

Устройство работает следующим образом, при этом работа устройства состоит из двух режимов. В первом режиме, оптимальном для расплавления шихты тигля 23 формируют высокочастотное однофазное электромагнитное поле, при этом синхронно отпирают со сдвигом в  $180^\circ$  эл. по высокой частоте противофазные вентили 1, 2, 3, 4 и 12, 13, 14, 15 двух параллельных вентильных мостов, что обеспечивает максимально возможную мощность двух упомянутых вентильных мостов и быстрое расплавление шихты, находящейся в тигле 23 индуктора. Во втором режиме для подогрева шихты и оптимального электромагнитного перемешивания формируют с помощью вентилях 1, 2, 3, 4 и 12, 13, 14, 15 двухчастотное двухфазное электромагнитное поле, для этого сначала многократно открывают и закрывают каждый вентиль одной фазы в первом вентильном мосту, например, вентили 1, 4, затем многократно открывают и закрывают каждый вентиль другой фазы в этом же вентильном мосту, а именно вентили 2, 3, при этом формируют низкочастотное

электромагнитное поле с модуляцией по высокой частоте, причем во втором вентильном мосту с помощью клапанов 12, 15 и 13, 14 также подобным образом формируют низкочастотное электромагнитное поле с модуляцией по высокой частоте, сдвинутое на  $90^\circ$  эл. по низкой частоте по отношению к первому вентильному мосту.

Рассмотрим более детально работу устройства в двух упомянутых режимах.

1-й режим. При заданной частоте высокочастотной составляющей электромагнитного поля и заданных параметрах индуктора 10-21-11-22, что определяется типом шихты и ее размерами, конденсаторы 9 и 20, а также дроссели 5, 6, 7, 8 и 16, 17, 18, 19 обоих вентильных мостов выбираются такими, чтобы оба вентильных моста работали в колебательном режиме с примерно синусоидальной формой тока, протекающего через клапаны, который обеспечивает естественное выключение управляемых клапанов, в качестве которых использованы однооперационные тиристоры, которые, как известно, дешевле двухоперационных тиристоров и транзисторов с одинаковой установленной мощностью. При указанных выше условиях при отпирании управляемых клапанов 1, 4 первого вентильного моста и управляемых клапанов 13, 14 второго вентильного моста, ток, близкий к синусоидальному, протекает в первом вентильном мосту по контурам «+»

«-», а во втором вентильном мосту - по контурам «+»

$$-1-5 < \overset{9}{11-10} > 8-4 -$$

«-», при этом примерно через полпериода заданной частоты оба упомянутых тока подходят к нулевому значению, а конденсаторы 9 и 20 первого и второго вентильных мостов заряжаются до напряжения, полярность которого показана на фиг.1 знаками «+» - «-» (конденсатор 9) и «-» - «+» (конденсатор 20), что и обеспечивает естественное выключение управляемых клапанов 1, 4 и 13, 14. На этом синхронно в первом и втором вентильных мостах заканчивается первый полупериод тока заданной частоты и формирование первого полупериода электромагнитного поля в шихте тигля 23 индуктора, при этом части полуобмоток 11, 10 и 22, 21 индуктора формируют одинаковое электромагнитное поле, условно направленное сверху вниз. При отпирании управляемых клапанов 2, 3 первого вентильного моста и управляемых клапанов 12, 15 второго вентильного моста ток, близкий к синусоидальному, протекает в первом вентильном мосту по контурам «+»

«-», а во втором вентильном мосту - по контурам «+»

$$-2-6 < \overset{9}{10-11} > 7-3 -$$

«-», в остальном процессы повторяются, при этом

$$-12-16 < \overset{20}{21-22} > 19-15 -$$

конденсаторы 9 и 20 перезаряжаются соответственно до напряжения противоположной полярности (-)-(+ и (+)-(-), при этом синхронно в первом и втором вентильных мостах заканчивается второй полупериод тока заданной частоты и формирование второго полупериода электромагнитного поля в шихте тигля 23 индуктора, при этом части обмоток 10, 11 и 21, 22 индуктора формируют одинаковое электромагнитное поле, условно направленное снизу вверх. При этом заканчивается полный период тока в вентильных мостах и формирование полного периода высокочастотного однофазного электромагнитного поля, которое обеспечивает интенсивный нагрев шихты в тигле 23 индуктора. Затем снова отпираются управляемые клапаны 1, 4 и 13, 14 и процессы полностью повторяются. Поскольку в этом режиме не формируют низкочастотное электромагнитное поле, необходимое для электромагнитного перемешивания, вся установленная мощность двух вентильных мостов обеспечивает интенсивный нагрев шихты в тигле 23 индуктора без затрат электроэнергии на электромагнитное перемешивание, что обеспечивает максимальную мощность для нагрева шихты в тигле 23 при максимальном коэффициенте полезного действия и минимальных потерях, что, в свою очередь, обеспечивает минимальный удельный расход электроэнергии на расплавление шихты в первом режиме. При этом попеременное размещение на поверхности тигля 23 индуктора частей 10, 11 и 21, 22 первой и второй полуобмоток индуктора обеспечивает наиболее оптимальный режим работы первого и второго вентильных мостов, т.к. эквивалентное сопротивление полуобмоток 10-11 и 21-22 примерно равны по сравнению с расположением частей полуобмоток индуктора, например, в порядке 10, 11, 21, 22.

2-й режим. В этом режиме формируют двухчастотное двухфазное электромагнитное поле, высокочастотная составляющая которого предназначена для подогрева расплавленного металла, а низкочастотная составляющая

электромагнитного поля предназначена для электромагнитного перемешивания упомянутого металла. Для эффективного электромагнитного перемешивания необходимо задать частоту низкочастотной составляющей двухчастотного электромагнитного поля, которая определяется типом расплавленного металла и его массой, а также размерами тигля 23 индуктора. Для проведения второго режима сначала многократно открывают и закрывают вентили 1, 4 одной фазы первого вентильного моста, при этом, во-первых, система управления обеспечивает только отпирание указанных вентилей 1, 4, а закрываются они путем естественной коммутации, как отмечено выше, во-вторых, число отпираний и запирааний вентилей 1, 4 одной фазы определяется соотношением частот высокочастотной  $f_{вч}$  и низкочастотной  $f_{нч}$  составляющих. Так, если  $\frac{f_{вч}}{f_{нч}} = 2$ ,

указанных управляемых вентилей 1, 4 производится два раза,  $\frac{f_{вч}}{f_{нч}} = 4$ , то - четыре

раза и т.д. Допустим, что вентили 1, 4 отпираются четыре раза. При первом отпирании вентилей 1, 4 первого вентильного моста ток протекает по следующим контурам «+»

$$-1-5 < \frac{9}{11-10} > 8-4-$$

«-», одновременно с упомянутыми вентилями

отпираются управляемыми вентилями 12, 15 второго вентильного моста и ток протекает 20 по контурам «+»

$$-12-16 < \frac{20}{21-22} > 19-15-$$

«-», при этом

управляемые вентили 1, 4 и 12, 15 запираются путем естественной коммутации, конденсатор 9 заряжается до напряжения с полярностью указанной на фиг.1 знаками «+» - «-», а конденсатор 20 заряжается до напряжения, полярность которого указана на фиг.1 знаками (+)-(-), при этом электромагнитное поле условно направлено от частей 11, 10 полуобмоток индуктора сверху вниз, а от частей 21, 22 полуобмоток индуктора - снизу вверх. После этого снова должны отпираться управляемые вентили 1, 4 первого моста и управляемые вентили 12, 15 второго моста. Однако они не могут открываться, т.к. напряжение на конденсаторах 9 и 20 направлено встречно по отношению к полярности напряжения источника питания постоянного напряжения, при этом напряжение на конденсаторах 9 и 20 в соответствии с принятым колебательным режимом больше напряжения источника постоянного напряжения. Поэтому отпирание управляемых вентилей 1, 4 и 12, 15 осуществляется с интервалом задержки, который необходим для того, чтобы конденсаторы перезарядились по следующим контурам: конденсатор 9 по контуру 9-11-10-9 перезарядится до напряжения, полярность которого обозначена на фиг.1 знаками (-)-(+), а конденсатор 20 по контуру 20-21-22-20 перезарядится до напряжения, полярность которого обозначена знаками «-» - «+».

После этого повторно во второй раз отпираются управляемые вентили 1, 4 первого моста и управляемые вентили 12, 15 второго вентильного моста, при этом электромагнитные процессы полностью повторяются. Далее повторно в третий раз отпираются управляемые вентили 1, 4 первого вентильного моста и процессы полностью повторяются, а во втором вентильном мосту одновременно в первый раз отпираются управляемые вентили 13, 14 и ток протекает по контурам «+»

$$-13-17 < \frac{20}{21-22} > 18-14-$$

«-», при этом конденсатор 20 заряжается до

напряжения, полярность которого обозначена знаками «-» - «+», при этом электромагнитное поле условно направлено сверху вниз, так же как и от протекания тока вентилей первого моста. Затем конденсатор 20 перезарядается до напряжения, полярность которого обозначена знаками (+)-(-). Затем повторно в четвертый раз отпираются управляемые вентили 1, 4 первого моста и процессы полностью повторяются, а во втором мосту повторно во второй раз отпираются управляемые вентили 13, 14 второго моста и процессы полностью повторяются. После этого в первый раз отпираются управляемые вентили 2, 3 первого моста и ток протекает по контурам «+»

$$-2-6 < \frac{9}{10-11} > 7-3-$$

«-», при этом конденсатор 9 заряжается до

напряжения, полярность которого обозначена знаками (-)-(+), и перезарядается по контуру 9-10-11-9 до напряжения, полярность которого обозначена знаками «+» - «-». Одновременно в третий раз отпираются управляемые вентили 13, 14 во втором мосту и процессы полностью повторяются, затем в первом мосту во второй раз отпираются

управляемые вентили 2, 3, а во втором мосту одновременно в четвертый раз отпираются управляемые вентили 13, 14, при этом процессы полностью повторяются и и.д. и т.д. Вышеприведенное рассмотрение электромагнитных процессов позволяет получить полную временную диаграмму работы всех управляемых вентилях первого и второго вентильных мостов, которая приведена в виде следующих друг за другом вентильных токов на фиг.2 с указанием номеров вентилях. Из этой диаграммы следует, что ток управляемых вентилях 1, 4 и 2, 3 первого моста имеет высокочастотную составляющую за счет неоднократного (четырёхкратного) отпирания и запираания сначала управляемых вентилях 1, 4, а затем неоднократного (четырёхкратного) отпирания и запираания противофазных управляемых вентилях 2, 3, а также низкочастотную составляющую тока, частота которой в четыре раза меньше частоты высокочастотной составляющей, при этом следует отметить, что ток упомянутых управляемых вентилях 1, 4, 2, 3 есть ток частей 10, 11 первой полуобмотки индуктора. Аналогична диаграмма токов управляемых вентилях 12, 15, 13, 14 второго вентильного моста, при этом ток упомянутых управляемых вентилях 12, 15, 13, 14 есть ток частей 21, 22 второй полуобмотки индуктора. Из временной диаграммы токов первого и второго мостов следует, что низкочастотная составляющая тока второго вентильного моста отстает на  $90^\circ$  эл. от низкочастотной составляющей тока первого вентильного моста, т.е. низкочастотные составляющие токов первого и второго мостов образуют двухчастотную двухфазную систему токов, которая формирует двухчастотное двухфазное электромагнитное поле, обеспечивающее интенсивное одноконтурное электромагнитное перемешивание расплавленного металла и его подогрев, т.е. достигается заявленный технический результат.

В заключение следует заметить:

1. Если в режиме генерирования двухчастотного двухфазного электромагнитного поля при отпирании очередной пары противофазных управляемых вентилях, например, отпирании управляемых вентилях 2, 3 после работы управляемых вентилях 1, 4 первого вентильного моста, напряжение на конденсаторе 9 будет препятствовать отпиранию управляемых вентилях 2, 3, интервал сдвига момента отпирания вентилях 2, 3 может быть увеличен с одного полупериода высокой частоты, как это показано на фиг.2, например до трех или пяти полупериодов высокой частоты, когда конденсатор 9 полностью разрядится и не будет препятствовать протеканию тока через вентили 2, 3. Аналогичная ситуация может иметь место и при отпирании других противофазных вентилях, а именно при отпирании вентилях 1, 4 после работы вентилях 2, 3, при отпирании вентилях 13, 14 после работы вентилях 12, 15, а также при отпирании вентилях 12, 15 после работы вентилях 13, 14. Поскольку частота электромагнитного перемешивания значительно ниже (в десятки раз) частоты индукционного нагрева шихты, этот сдвиг не повлияет существенно на форму низкочастотной составляющей тока и электромагнитного поля. Следует также заметить, что напряжение, например, на конденсаторе 9 после протекания тока вентилях 1, 4, обозначенное на фиг.1 знаками «+» - «-», в колебательном режиме должно быть обязательно больше напряжения источника питания, однако напряжение на этом же конденсаторе 9, обозначенное после перезаряда по контуру 9-11-10-9 знаками (-)(+), необязательно должно быть больше напряжения источника питания, т.к. перезаряд происходит с затуханием. Поэтому вышеописанная ситуация лишь вероятна, но необязательна и зависит от параметров цепи колебательного контура преобразовательного устройства.

2. Регулирование процесса подогрева металла и его электромагнитного перемешивания можно осуществлять двумя способами.

1-й способ: изменение  $f_{нч}$  с одновременным изменением количества высокочастотных импульсов тока в каждом полупериоде низкой частоты при сохранении режима работы вентилях «импульс тока - пауза, импульс тока - пауза», как это показано на фиг.2, где длительность импульса высокочастотного тока и паузы равны.

2-й способ: уменьшение количества высокочастотных импульсов тока в каждом полупериоде низкой частоты при неизменном значении  $f_{нч}$  за счет изменения длительности паузы между высокочастотными импульсами тока.

3. При определении оптимальной формы напряжения на управляемых вентилях часть дросселей колебательных контуров первого и второго вентильных мостов может быть вынесена из плечей, последовательно соединенных с управляемыми вентилями, и включена последовательно с вентильными мостами.

4. При резко неравномерной структуре шихты по оси тигля 23 индуктора в ряде случаев более оптимальным с точки зрения устойчивой работы вентильных мостов

расположение частей полуобмоток индуктора по длине тигля 23, начиная сверху в порядке 10, 21, 22, 11, может оказаться более оптимальным.

5. При использовании однооперационных тиристорov предлагаемое преобразовательное устройство и способ его управления могут быть реализованы на основе нулевого параллельного резонансного инвертора, а также параллельного резонансного инвертора с нулевым выводом источника питания.

6. При использовании полностью управляемых вентилей - транзисторов или двухоперационных тиристорov предлагаемое преобразовательное устройство для индукционного нагрева и способ его управления могут быть реализованы на основе параллельного мостового инвертора тока.

7. Для защиты источника постоянного напряжения от высших гармоник при работе преобразовательного устройства на входе преобразовательного устройства может быть включен фильтровый конденсатор.

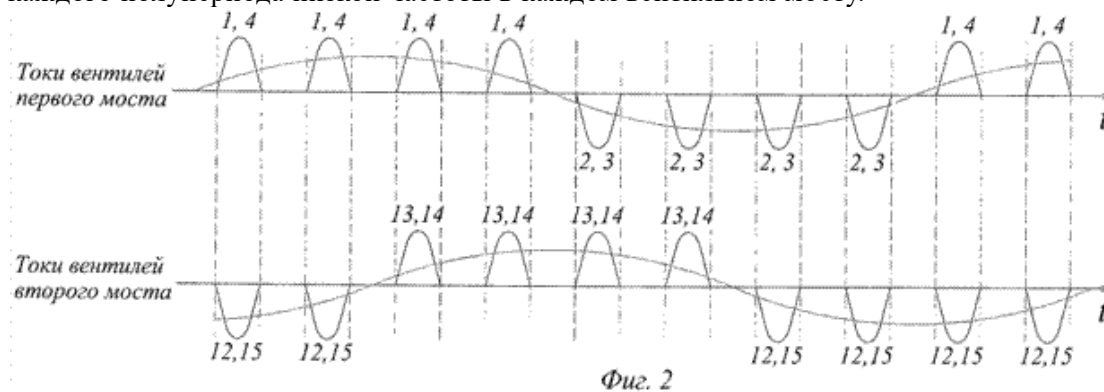
#### Формула изобретения

1. Преобразовательное устройство для индукционного нагрева на основе параллельного мостового резонансного инвертора, содержащее первый вентильный мост, состоящий из четырех управляемых вентилей, последовательно с каждым из которых соединена часть дросселя колебательного контура, при этом первый вентильный мост имеет диагональ постоянного тока и диагональ переменного тока, при этом первый вентильный мост диагональю постоянного тока подсоединен к источнику постоянного напряжения с такой полярностью, чтобы управляемые вентили были включены в прямом направлении по отношению к полярности источника постоянного напряжения, а к диагонали переменного тока первого вентильного моста подсоединен первый конденсатор, параллельно которому подсоединен первый индуктор, отличающееся тем, что дополнительно введены имеющий диагональ постоянного тока и диагональ переменного тока аналогичный второй вентильный мост, а также второй конденсатор и второй индуктор, при этом диагональю постоянного тока второй вентильный мост подсоединен параллельно диагонали постоянного тока первого вентильного моста, а к диагонали переменного тока второго вентильного моста подсоединен второй конденсатор, параллельно которому подсоединен второй индуктор, при этом два индуктора объединены в один двухобмоточный индуктор, содержащий две полуобмотки, первую и вторую, каждая из которых соединена параллельно с одним из конденсаторов двух вентильных мостов, при этом каждая полуобмотка двухобмоточного индуктора выполнена из двух частей, первой и второй, последовательно соединенных между собой, при этом части полуобмоток на боковой поверхности тигля двухобмоточного индуктора, начиная с верха этого индуктора, расположены вдоль оси двухобмоточного индуктора перпендикулярно этой оси в следующем порядке: первая часть первой полуобмотки двухобмоточного индуктора, первая часть второй полуобмотки двухобмоточного индуктора, вторая часть первой полуобмотки двухобмоточного индуктора, вторая часть второй полуобмотки двухобмоточного индуктора.

2. Способ управления преобразовательного устройства для индукционного нагрева на основе параллельного мостового резонансного инвертора, заключающийся в формировании режимов индукционного нагрева, включающий формирование в нагрузке одновременно высокочастотного и низкочастотного сигналов, для чего импульсы управления вентилями формируют с частотой, равной резонансной частоте параллельного колебательного контура, при этом посредством управления вентилями формируют высокочастотные колебания в виде синусоиды, средняя линия которой изменяется по закону низкочастотного сигнала, отличающийся тем, что формируют высокочастотное однофазное электромагнитное поле в процессе расплавления шихты в двухобмоточном индукторе, при этом синхронно отпирают со сдвигом в  $180^\circ$  эл. по высокой частоте противофазные вентили двух параллельных вентильных мостов, а также формируют двухчастотное двухфазное электромагнитное поле при электромагнитном перемешивании расплавленного металла в двухобмоточном индукторе, при этом в первом вентильном мосту многократно открывают и закрывают каждый вентиль одной фазы, затем многократно открывают и закрывают каждый вентиль другой фазы, при этом формируют низкочастотное однофазное электромагнитное поле с модуляцией по высокой частоте, причем во втором вентильном мосту также подобным образом формируют низкочастотное однофазное электромагнитное поле с модуляцией по высокой частоте, сдвинутое на  $90^\circ$  эл. по низкой частоте по отношению к первому вентильному мосту, при этом соотношение частот высокочастотной и низкочастотной составляющих электромагнитного поля



задают количеством открываний и закрываний вентилей одной фазы на протяжении каждого полупериода низкой частоты в каждом вентильном мосту.



## ИЗВЕЩЕНИЯ

**ММ4А Досрочное прекращение действия патента из-за неуплаты в установленный срок пошлины за поддержание патента в силе**

Дата прекращения действия патента: **13.01.2013**

Дата публикации: [10.11.2013](#)